築後 53 年を経過した鉄筋コンクリート造建築物における鉄筋腐食状況の実態調査

FIELD SURVEY OF THE REINFORCEMENT CORROSION ON ACTUAL RC BUILDING THAT WAS BUILT 53 YEARS AGO

田沼毅彦 — *1 杉山 央 — *2

Takehiko TANUMA — *1 Hisashi SUGIYAMA — *2

キーワード：
RC 造建築物, 鉄筋腐食, かぶり厚さ, 中性化, 含水率

Keywords:
RC building, Reinforcement corrosion, Thickness of cover concrete, Carbonation, Water content

We have conducted a survey on one RC building that was built 53 years ago for such detail conditions as reinforcement corrosion, thickness of cover concrete, carbonation depth, and water content in concrete. These conditions of the building surveyed were sorted out by structural members, orientations of concrete wall and environmental conditions to understand actual conditions of the reinforcement corrosion, so that we can study the cause of the reinforcement corrosion.

1. はじめに

鉄筋コンクリート造（以下、RC 造と略記）建築物の耐用年数は、構造耐力上問題となるまで鉄筋が腐食した時点までとされており、RC 造建築物の適切な耐久性評価を行うには実建築物における鉄筋腐食の把握と要因分析が必要である。しかし、供用中の建築物では、鉄筋腐食にかかる破壊調査の実施やその範囲には制約がある。そこで、耐久性調査の計画や結果の評価に資するデータを得るために、建替え事業に伴い解体除却される築後 53 年を経過した現場打ち壁式 RC 造の集合住宅 1 棟を対象に、鉄筋腐食状況の実態調査ならびに鉄筋腐食が生ずる要因を検討するために中性化深さ、かぶり厚さおよびコンクリートの含水率などの測定を実施した。

2. 調査概要

2.1 調査対象建築物

調査対象建築物は埼玉県草加市にある団地内に立地する 4 階建て壁式 RC 造集合住宅 1 棟であり、その概要を表 1 に示す。1963 年に建設後、外壁改修を伴う大規模修繕工事が 1983 年に一度行われている。2015 年まで供用され、調査は 2016 年 2 月に行った。

2.2 調査内容

(1) 調査項目・調査方法

調査項目と調査方法を表 2 に示す。調査項目は、仕上げ面の劣化状況、鉄筋の腐食状況、中性化深さ、かぶり厚さ、コンクリートの圧縮強度およびコンクリートの質量含水率で、調査方法は以下である。

仕上げ面の劣化状況は、はつりの前に外観目視によるひび割れの有無の確認、クラックスケールによるひび割れ幅の計測を行った。

鉄筋の腐食状況の調査、中性化深さおよびかぶり厚さの測定は、電動のコンクリート用はつりノミで仕上げ材およびコンクリートをはつりとり、鉄筋を露出させて行った。鉄筋の腐食状況は、表 3 に示す「鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針（案）・同解説」¹⁾の鉄筋腐食度評価基準に基づき、目視で腐食グレー

表 1 調査対象建築物の概要

諸 元	内 容
外 観
階数・構造種別・用途	4 階建て・壁式 RC 造・集合住宅
所在地・竣工年	埼玉県草加市・1963 年
セメント・コンクリート	N・普通コンクリート
設計基準強度 F_c	15N/mm ² （建設時 150kgf/cm ² ）
部材の設計厚さ	耐力壁：150 mm，スラブ：110 mm，基礎立上り：230 mm
外壁仕上げ	モルタル仕上げの上に、色モルタル（着色したモルタルで塗厚 3 mm 以上）吹付
外壁改修仕上げ（年）	リシン吹付（1983 年）

表 2 調査項目および調査方法

調査項目	調査方法
仕上げ面の劣化状況	ひび割れの有無などを外観目視により確認
鉄筋の腐食状況	はつり箇所で見視
コンクリート中性化	はつり箇所にフェノールフタレイン溶液を噴射
かぶり厚さ	はつり箇所で鋼製巻尺による測定
コンクリート圧縮強度	湿式コア採取による圧縮強度試験
コンクリート含水率	乾式コアを採取し、乾燥前後の質量を計量

表 3 鉄筋腐食度評価基準¹⁾

腐食グレードと評価基準	
I	腐食がない状態、または表面にわずかな点さびが生じている状態。
II	表面に点さびが広がって生じている状態。
III	点さびがつながって面さびとなり、部分的に浮きさびが生じている状態。
IV	浮きさびが広がって生じ、コンクリートにさびが付着し、断面積で 20% 以下の欠損を生じている箇所がある状態。
V	厚い層状のさびが広がって生じ、断面積で 20% を超える著しい欠損を生じている箇所がある状態。

図 1 含水率測定用試料

写真 1 含水率測定用試料

¹⁾ 宇都宮大学大学院工学研究科 大学院生・工修／国立研究開発法人建築研究所 主任研究員
(〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2)

²⁾ 宇都宮大学大学院工学研究科 教授・工博

¹⁾ Graduate Student, Dept. of Architecture, Utsunomiya Univ., M. Eng. / Senior Research Engineer, Building Research Institute

²⁾ Prof., Dept. of Architecture, Utsunomiya Univ., Dr. Eng.

ドを判定した。中性化深さの測定は、フェノールフタレイン 1%溶液をはつり面に噴霧し、鋼製巻尺で測定した。かぶり厚さは、鉄筋の最外部から、コンクリートとモルタル仕上げの境界までの最短距離とし、鋼製巻尺で測定した。併せて、モルタル仕上げの厚さも測定した。

コンクリートの圧縮強度は、湿式コアドリルにより直径 100 mm（一部、75 mm）のコアを採取し、仕上げ部分をカットして、JIS A 1107 に準拠した圧縮強度試験を行った。

コンクリートの質量含水率は、乾式コアドリルにより直径 75 mm のコアを採取して仕上げ部分をカットし、図 1 および写真 1 に示すようにコア両端部から各々約 40 mm の位置でドライカッターを用いてコアを 3 分割して得た各試料を、JIS A 1476 に準拠した方法により乾燥前後の試料の質量を計量して算出した。乾燥温度は 105℃とした。

(2) 調査位置

はつり調査位置を図 2～6 に示す。図中の数字は、調査位置の通し番号である（以下、調査位置 No. と略記。）。調査位置の部材別（耐力

凡例：屋外雨がかり有りの壁・基礎▲、屋外雨がかり無しの壁・基礎△、屋内壁△（図 2～6 共通） スラブ■（ただし、31～38、52、64、71 は天井、53～55 は床）

図 2 基礎立上りのはつり調査位置

図 3 1 階のはつり調査位置

図 4 2 階のはつり調査位置

図 5 3 階のはつり調査位置

図 6 4 階のはつり調査位置

図 7 含水率測定用のコア採取位置

壁、スラブおよび基礎立上り）、環境条件別（屋外および屋内における雨・水がかりの有無）の分類、調査部位、調査位置 No.、および実施した調査数量を表 4 に、仕上げ材の種類を表 5 に示す。はつり調査位置は全 80 カ所で鉄筋本数は 216 本である。はつり調査位置が同一断面で貫通している場合でも屋外側（天井側）と屋内側（床側）で調査位置 No. は区別している。はつりの平面範囲は原則 200×200 mm 程度であるが、一部スラブでは、一辺の辺長が 600 mm、幅が 200 mm 程度の L 字型などの不整形にはつっている。

圧縮強度試験用の湿式コアは、はつり調査を行った位置の同じ部材から各 2～3 本、計 116 本を採取した。

含水率測定用のコア供試体の採取位置を図 7 に示す。数量は、耐力壁については 1～4 階のほぼ同一平面位置における採取位置①～⑥からそれぞれ各階 1 本計 4 本ずつの 24 本、スラブは 9 本で、合計 33 本である。供試体は貫通コア状で採取し、その両端面における環境条件と図 7 に示す採取位置①～⑨の関係を表 6 に示す。

3. 調査結果

3.1 コンクリートの圧縮強度

コンクリートの圧縮強度の平均値と標準偏差を部材別に表 7 に示す。全ての部材で平均値が設計基準強度を満足していた。しかし、耐力壁は相対的に低い傾向にあり、設計基準強度を下回ったデータも 10 データあった。他部材は全データが設計基準強度を上回っていた。

3.2 中性化深さ

中性化深さ x (mm) の平均値と標準偏差を部材別および環境条件別に表 8 に示す。耐力壁の x の度数分布を、屋外側および屋内側別に図 8 および図 9 に示す。平均値が一番大きいのは屋内側の耐力壁で

表 4 部材別および環境条件別のはつり調査位置と調査数量

	屋 外		屋 内	
	雨がかり有	雨がかり無	水がかり有	水がかり無
耐力壁	外壁 No.6～16,39～45, 56～63,72～77 (32 カ所 85 本)	バルコニー下と 階段室の壁 No.17～19, 46,64,78 (6 カ所 11 本)	浴室 No.20 (1 カ所 2 本)	居室 No.21～30, 47～51, 65～70,79～80 (23 カ所 46 本)
スラブ	バルコニーと階段室 の天井 No.31～35, 52,71 (7 カ所 50 本)	—	浴室の床と天井 No.36～38, 53～55 (6 カ所 12 本)	—
基礎 立上り	1 階外壁脚部 No.1～4 (4 カ所 8 本)	1 階バルコニー 下の壁脚部 No.5 (1 カ所 2 本)	—	—

表中の No. は図 2～6 の調査位置 No. に対応。() 内は、はつりカ所数および鉄筋本数。

表 5 はつり調査位置における仕上げ材の種類

	屋 外	屋 内	
	雨がかり有・無 共通	水がかり有 (浴室)	水がかり無
耐力壁	モルタル仕上げ + 色モルタル吹付 + リシン吹付	モルタル仕上げ + タイル貼り	プラスター塗り + クロス貼り
スラブ	床/防水モルタル仕上げ 天井/モルタル仕上げ + リシン吹付	床/アスファルト防水 + 防水モルタル仕上げ 天井/合成樹脂エナメル 塗りのフレキシブルボード	—
基礎 立上り	モルタル仕上げ	—	—

52.3 mm, 中性化速度係数にすると 7.2 mm/√年で、屋外側に比べて明らかに中性化進行が速いと言える。屋内側の耐力壁は居室であるため、人間が排出する CO₂ によって他の調査位置より CO₂ 濃度が高かったためと考えられる。一方、屋内側のスラブは平均値 5.2 mm であった。これは調査位置が浴室であるため、アスファルト防水と防水モルタルが施されており、湿潤環境であり、かつ仕上げ材による中性化抑制効果が大きかったと考えられる。屋外側の耐力壁について雨がかりの有無で比較すると、モルタル仕上の厚さが異なるので単純に比較はできないが、雨がかり有りは 0~70 mm 超の範囲に広く分布しているのに対して、湿潤環境になりにくい雨がかり無しでは 30 mm 未満のデータはなかった。なお、いずれの部材・環境条件でも変動係数にするとおおそ 50~100% の範囲にあり、ばらつきが大きかった。

3.3 かぶり厚さ

かぶり厚さ d (mm) の平均値と標準偏差を部材別および環境条件別に表 9 に示す。また、屋外側の耐力壁およびスラブ下端筋の d の度数分布を図 10~11 に示す。屋外側のスラブの鉄筋は 20 mm 未満のデータが 70%, 屋外側の耐力壁では 30 mm 未満のデータが 46% 程度あり、鉄筋位置の施工精度は良くない状況であった。なお、1~3 階の耐力壁の鉄筋は複配筋であるが、4 階の耐力壁は図面上、一部が単配筋である。単配筋の鉄筋については、測定した d が小さくなるほうの側の環境条件（屋外・屋内）に分類した。

3.4 鉄筋の腐食状況

3.4.1 部材別・環境条件別の状況

d と腐食グレードの関係および x と d の差 ($x-d$) の数値と腐食グレードとの関係をそれぞれ部材別・環境条件別に図 12~21 に示す。

表 6 含水率測定用の乾式コアの両端面における環境条件

部材	コア両端面における環境条件	採取位置	本数
耐力壁	屋外・雨がかり有りー屋内・水がかり無し	①~④	16
	屋外・雨がかり無しー屋内・水がかり無し	⑤	4
	屋外・雨がかり無しー屋内・水がかり有り	⑥	4
スラブ	屋外・雨がかり有りー屋外・雨がかり有り	⑦~⑨	9

表 7 コンクリート圧縮強度の試験結果

	耐力壁	スラブ	基礎	全体
データ数	71	30	15	116
平均値 (N/mm ²)	20.9	28.9	27.9	23.8
標準偏差 (N/mm ²)	6.3	5.9	10.5	7.8

表 8 中性化深さの測定結果

	耐力壁		スラブ		基礎	全体
	屋外	屋内	屋外	屋内	屋外	
データ数	38	24	7	6	5	80
平均値 (mm)	38.8	52.3	28.7	5.2	27.8	38.7
標準偏差 (mm)	22.0	24.6	15.7	5.7	22.8	24.6

表 9 かぶり厚さの測定結果

	耐力壁		スラブ		基礎	全体
	屋外	屋内	屋外	屋内	屋外	
データ数	96	48	50	12	10	216
平均値 (mm)	35.4	44.6	13.6	20.7	54.7	32.5
標準偏差 (mm)	23.0	18.4	13.4	12.8	25.2	23.1

表 10 使用されていた鉄筋種類および呼び径

部材	耐力壁	スラブ	基礎立上り
鉄筋種類・呼び径	丸鋼 9, 13, 16 mm	丸鋼 9, 13 mm	丸鋼 9, 16 mm

各図中には腐食グレードごとの鉄筋本数を記載した。なお、各鉄筋は、 $x-d<0$ の場合は未中性化領域に、 $x-d\geq 0$ の場合は中性化領域に存在するとみなすことにする。また、調査位置で確認された鉄筋の種類および径を表 10 に示す。鉄筋種類は丸鋼で、呼び径 9~16 mm であった。以下、部材別・環境条件別に考察する。

(1) 屋外側の耐力壁

調査本数は全 96 本である。腐食グレードの最大は IV で、その多くは図 12 に示すように d が 30 mm 未満の鉄筋である。中性化領域の鉄筋は図 13 に示すように 56 本あり、うち 25 本が腐食グレード IV であった。一方で、中性化領域の鉄筋でも腐食が軽微なものもあり、腐食グレード II 以下が 21 本あった。これらは、調査位置 No.6, 10, 12, 13, 15, 17, 18, 39, 40, 44, 60, 64, 72, 74, 76 および 78 にある鉄筋で、部位などの偏りは特に見られなかった。しかし、中性化領域にある鉄筋で雨がかり無しに限定すれば、7 本中 6 本（調査位置 No.17, 18, 64 および 78）がグレード II 以下であり、中性化領域にあっても雨がかり無しでは、鉄筋が腐食しにくい傾向にあった。

未中性化領域の鉄筋は図 13 に示すように 40 本あり、うち 36 本が腐食グレード II 以下で腐食は軽微であった。しかし、 $x-d$ が -5 mm 程度の未中性化領域の範囲では腐食グレード IV が 3 本（調査位置 No.16, 63, 75）確認された。例として、調査位置 No.16 ののはつり前後の状況を写真 2 に示す。試験体による実験では、フェノールフタレイン法によって計測した x より 6~8 mm 深い部分が鉄筋腐食限界とする報告²⁾があるが、これと同様の事象であった。

(2) 屋内側の耐力壁

調査本数は全 48 本である。 d は図 14 に示すように 30 mm 以上が多いが、図 8 および図 9 に示すように中性化が屋外に比べて全体的に深く進行しており、中性化領域の鉄筋は図 15 に示すように 25 本あった。しかし、その多くは、腐食グレード II 以下で、 $x-d$ の大小に関わらず、腐食は大きく進行していなかった。なお、中性化領域にある鉄筋の腐食グレードの最大は III で、3 本あるが、全体に占める割合としては少ない。これらは調査位置 No.49, 65 および 67 の鉄筋で、うち調査位置 No.49 および 67 は、腰窓開口サッシ中央部の直下であった。この位置は、打設時にコンクリートが密実に充填されにくい場合があり、またサッシ取付け部から雨水が浸透する可能性がある。例として、調査調査 No.49 ののはつり前後の状況を写真 3 に示す。

図 8 屋外側耐力壁の中性化深さ

図 9 屋内側耐力壁の中性化深さ

図 10 屋外側耐力壁のかぶり厚さ

図 11 屋外側スラブ下端筋のかぶり厚さ

図 12 屋外側耐力壁のかぶり厚さと腐食グレード

図 13 屋外側耐力壁の中性化深さとかぶり厚さの差と腐食グレード

図 14 屋内側耐力壁のかぶり厚さと腐食グレードの関係

図 15 屋内側耐力壁の中性化深さとかぶり厚さの差と腐食グレード

図 16 屋外側スラブのかぶり厚さと腐食グレード

図 18 バルコニーを例に示した軒先からの離隔距離

図 17 屋外側スラブの中性化深さとかぶり厚さの差と腐食グレード

図 19 軒先からの離隔距離と腐食グレードの関係

図 20 屋内側スラブのかぶり厚さと腐食グレード

図 21 屋内側スラブの中性化深さとかぶり厚さの差と腐食グレード

図 22 基礎立上りのかぶり厚さと腐食グレード

図 23 基礎立上りの中性化深さとかぶり厚さの差と腐食グレード

写真 2 調査位置 No. 16 のはつり状況と鉄筋腐食グレード

写真 3 調査位置 No. 49 のはつり状況と鉄筋腐食グレード

写真 4 調査位置 No. 33 のはつり状況と鉄筋腐食グレード

写真 5 調査位置 No. 55 のはつり状況と鉄筋腐食グレード

写真 6 調査位置 No. 2 のはつり状況と鉄筋腐食グレード

図 24 モルタル仕上げの厚さおよびかぶり厚さと腐食グレードの関係

また、屋内で水がかりとなる浴室の壁は腐食グレード I であった。湿潤環境であり、かつタイル仕上げが施されているので、中性化進行が抑制されたためと考えられる。

(3) 屋外側のスラブ

調査本数は全 50 本で、スラブの下端筋である。図 11 および図 16 に示すように全体的に d が小さいこともあり、図 17 に示すように中性化領域の鉄筋が多く 46 本あった。腐食グレードの最大は V で 4 本あったほか、IV も 34 本あり、腐食が最も進行していた部材・環境条件である。例として、調査位置 No.33 ののはつり前後の状況を写真 4 に示す。

当該部位は屋外に張り出している水平面材で、特に軒先周辺は雨がかりしやすいことに加えて、排水溝や水切り目地があり、鉄筋のかぶり厚さが確保されにくいなど、鉄筋が腐食しやすい条件がそろっている箇所と考えられる。図 18 に例として示すような軒先から鉄筋位置までの離隔距離とその鉄筋の腐食グレードとの関係を図 19 に示す。軒先からの離隔距離が 200 mm までは腐食グレード IV 以上であったが、200 mm 以降では元端側に行くに従い、一部に腐食グレード I ～ III の鉄筋が見られた。

(4) 屋内側のスラブ (浴室)

調査本数は全 12 本で、浴室の上端筋と下端筋である。調査状況の一例として、調査位置 No. 55 (床) ののはつり前後の状況を写真 5 に示す。図 20 に示すように、 d が小さい鉄筋が屋外側のスラブ同様あ

るものの、図 21 に示すようにほとんどの鉄筋が未中性化領域にあり、腐食グレードも最大のⅡが 1 本あるのみで、残りはⅠであった。

(5) 基礎立上り

調査本数は全 10 本で、主筋とせん断補強筋である。図 22 に示すように基礎立上りは、他の部位に比べて d が確保されており、図 23 に示すようにほとんどの鉄筋が未中性化領域にあった。腐食グレードの最大はⅢで、中性化領域にある 2 本であった。当該鉄筋が確認された調査位置 No.2 のはつり前後の状況を写真 6 に示す。当該位置は換気口の隅角部にあたり、外観からは確認できなかったが、コンクリートにひび割れが生じやすい部分であり、その場合には雨水が浸透する可能性がある位置であった。

3.4.2 モルタル仕上げの影響

コンクリート表面に施されているモルタル仕上げが、鉄筋腐食の進行に及ぼす影響について検討した。検討対象は、屋外側の耐力壁で、中性化領域の鉄筋 56 本である。モルタル仕上げの厚さおよび d と腐食グレードとの関係を図 24 に示す。 d が 0 の位置は、鉄筋がコンクリートとモルタルの境界面に存在している状態である。ほとんどの鉄筋は d が 0~50 mm、モルタル厚さが 10~40 mm の間にあった。傾向としては、モルタル厚さの大小に関係なく、腐食グレードはⅠ~Ⅳまで分布しており、 d が小さい範囲でも同様であった。今回調査した建築物の外壁に施されていたモルタル仕上げには、中性化領域にある鉄筋の腐食進行を抑制するような効果はなかったと考えられる。

3.4.3 モルタル仕上げ表面の劣化状況との関係

モルタル仕上げ表面における劣化の有無を目視確認できた調査位置 71 カ所（調査位置 No.39, 40, 41, 56~58, 63, 72 および 74 を除く）の鉄筋 199 本について、劣化状況と腐食グレードの関係を表 11 に示す。ここで、「補修痕」とは、モルタル仕上げおよびかぶりコンクリートのはく離・はく落に対するモルタル補修が過去に行われたものと推定される箇所を示し、表面塗装の違いから判断した。モルタル仕上げ下層にあるコンクリートのひび割れについては、はつりによる破壊調査であったために確認できていない。また、調査時点において鉄筋の錆汁は、スラブ天井面の極めてわずかな範囲に見られたのみであった。

結果は、補修痕が見られない位置では、ひび割れの有無、その幅の大小に関わらず、腐食グレードⅠ~Ⅳまでの鉄筋が確認された。腐食グレードⅣの場合には、軽微なものも含めてひび割れが生じている場合が多かった。また、特に劣化事象が見られない場合には、その多くは腐食グレードⅠであった。しかし、0.2 mm 以上のひび割れがある場合にも割合としては、腐食グレードⅠが多く、これはモルタル仕上げ部分のみの劣化であったと推測される。ひび割れ有りは、ひび割れ無しに比べて鉄筋腐食が進行している傾向にあるが、そのひび割れ幅の大小と腐食グレードの関係は明確には関連づけられなかった。

また、補修痕が見られる位置にあった鉄筋は、ひび割れの有無に関わらず腐食グレードⅢ以上、その多くが腐食グレードⅣで、一部に腐食グレードⅤがあった。補修を行う時点で鉄筋がある程度、腐食していたと考えられるが、腐食グレードⅤの鉄筋を除去することなくそのまま存置してモルタル補修を行った可能性は低く、補修後に腐食グレードⅤまで進行したと推定される。鉄筋腐食が原因と考えられる過去に補修済みの箇所でも、その補修後も更に鉄筋腐食が進行していた可能性がある。

表 11 劣化事象の状況と腐食グレードごとの鉄筋本数

仕上げ表面の劣化事象	腐食グレード					計
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	
特になし	68	11	10	2	0	91
0.2 mm未満のひび割れあり	22	9	6	15	0	52
0.2 mm以上のひび割れあり	9	1	1	3	0	14
補修痕がある	0	0	2	28	4	34
補修痕に0.2 mm以上のひび割れあり	0	0	0	8	0	8
計	99	21	19	56	4	199

凡例の各丸数字は、図 7 の採取位置を示す。
各々コア 4 本の結果をまとめて示す。

図 25 耐力壁の屋内側と屋外側雨がかかり有りととの含水率分布の比較

凡例の各丸数字は、図 7 の採取位置を示す。
各々コア 4 本の結果をまとめて示す。

図 26 屋外側耐力壁における雨がかかり有りと雨がかかり無しの含水率分布の比較

凡例の丸数字は、図 7 の採取位置を示す。
コア 4 本の結果をまとめて示す。

図 27 水がかかり有りの屋内側耐力壁における含水率分布

凡例の各丸数字は、図 7 の採取位置を示す。
各々コア 3 本の結果をまとめて示す。

図 28 雨がかかり有りの屋外側スラブの含水率分布

3.4.4 コンクリートの含水率との関係

コンクリートの含水率と鉄筋腐食の関係については、供試体による実験³⁾や実建築物での報告^{例えば、4)}がある。ここでは、部材別・環境条件別に質量含水率を測定し、その傾向を確認した。なお、含水率測定用コアの採取前に本格的な降雨があったのは約 2 週間前であった。

(1) 耐力壁における屋内側と屋外側雨がかかり有りととの比較

図 25 に、図 7 の①~④に示す位置でそれぞれ各階 1 本計 4 本ずつ採取したコアの測定結果を示す。片方のコア端面が屋外側雨がかかり有り、もう片方が屋内側水がかかり無しである。屋内側の鉄筋腐食状況は、図 15 に示すように中性化領域にある鉄筋でもほとんどは腐食グレードⅡ以下であったが、そこでの質量含水率は 1.2~3.0%であった。屋内側は水が供給されない位置になるので、乾湿の変動は少なく、この質量含水率の数値は安定していると考えられる。

一方、屋外側の質量含水率は 1.1~5.2%であり、屋内側に比べて高めであるが、数値にはばらつきがあった。ばらつきの傾向としては、北面（図 25 中の位置④）と東面（同③）が高く、西面（同①）と南面（同②）が低いことから、降雨によって水が供給された後の乾燥の速さが方位によって違いがあり、日射が影響していると考えられる。屋外側雨がかかり有りは、腐食グレードⅣまで確認されたが、腐食に影響があると考えられる降雨時の湿潤状態における質量含水率は、本調査では未確認である。しかし、降雨がない日が続いた状態でも質量含水率が最大 5%程度あることから、降雨時には 5%以上の質量含水

率になること、そして、特に西面と南面は乾湿の変動の幅が比較的大きいことなどが想定される。

これらのことより、屋内側水がかり無しと屋外側雨がかり有りでは、質量含水率で3～5%を境にした環境条件の違いがあることが推定され、鉄筋の腐食進行の違いに影響している可能性が考えられる。

(2) 屋外側耐力壁の雨がかり無しと雨がかり有りとの比較

図26に、図7の②および⑤に示す位置でそれぞれ各階1本計4本ずつ採取したコアの測定結果を示す。雨がかり有りが②、雨がかり無しが⑤で、採取した方位は同じ南面である。屋外側雨がかり無しの鉄筋腐食状況は、図15に示すように中性化領域にある鉄筋でもそのほとんどは腐食グレードⅡ以下であったが、そこでの質量含水率は、1.1～1.5%であった。南面の雨がかり無しなので、比較的乾燥していると考えられる。降雨時においても他から雨水が浸透してこないことが前提であるが、屋内側同様に乾燥状態が保持されやすかったために、鉄筋の腐食進行が抑制されていた可能性が高い。なお、雨がかり有りの質量含水率の方が若干高めであるが、最大で1.7%程度で大きな差でなく、降雨後、表層で乾燥が進めば、ほぼ同じ乾湿状態になるようである。ただし、表層40mm以深では雨がかり無しが1.3～1.7%であるのに対して、雨がかり有りは1.4～2.8%であり、乾燥がしにくい内部では雨がかり有りの質量含水率は相対的に高く保たれていた。

(3) 屋内側水がかり有りの耐力壁の状況

図27に、図7の⑥に示す位置で各階1本計4本を採取したコアの測定結果を示す。場所は浴室である。屋内側の質量含水率は、2.5～4.5%の範囲にあり、(1)で述べた屋内側水がかり無しと比べて高めの傾向であった。浴室として使用されていたのは調査の6ヶ月程前までにも関わらず数値が高いのは、換気が少ない空間であること、透水性が低いタイル仕上げが施されており水分が蒸発しにくかったことなどが理由としてあげられる。なお、屋外側は雨がかり無しで2.3%以下であり、屋内側の湿潤状態が裏側の表層部分まで及ぶ影響は少ないようである。

屋内側の鉄筋は未中性化領域に存在し、腐食グレードⅡ以下であった。コンクリート中に水が供給されやすい環境であったが、未中性化領域にあることで、鉄筋は腐食が進行しなかったと考えられる。

(4) 屋外側雨がかり有りのスラブの状況

図27に、図7の⑦～⑨に示す位置で各3本計9本を採取したコアの測定結果を示す。場所はバルコニーおよび外部階段室である。床側の質量含水率は、4.9～9.6%の範囲にあり、調査位置で最も高めであった。一方、天井側は0.8～2.5%の範囲にあり、大きな差がある。床側の仕上げは40mm以上の防水モルタルが施されており、浸透した水がコンクリート床表面から蒸発しにくいものに対して、天井側の仕上げは透水性の高いリシン吹付であり、水が抜けやすかったことなどがその原因として考えられ、既往の報告⁹⁾と同様の傾向であった。

天井側となるスラブ下側の鉄筋は中性化領域に存在し、そのほとんどが腐食グレードⅣ以上であった。(1)で述べた屋外側雨がかり有りの耐力壁の場合と同様に、腐食に影響があると考えられる降雨時の湿潤状態における質量含水率は、本調査では未確認である。しかし、降雨時に天井側まで水が浸透した場合には、屋外側耐力壁同様に天井側も5%以上の質量含水率に一時的になること、乾湿の変動の幅が比較的大きいことなどが想定される。施工の結果、かぶり厚さが確

保されていない鉄筋が多くあったことに加えて、これらの環境条件が要因となって、鉄筋の腐食が大きく進行したと考えられる。

4. まとめ

実建築物における鉄筋腐食状況の実態把握と要因分析を行うために、築後53年を経過した現場打ち壁式RC造の集合住宅1棟を対象に、はつり調査を部材別(耐力壁、スラブおよび基礎立上り)・環境条件別(屋外および屋内における雨・水がかりの有無)に分類して計80カ所、鉄筋216本に対して行った。まとめを以下に示す。

- (1) 鉄筋が腐食し、進行しているのは、中性化領域にあり、かつ屋外側で雨がかり有りの環境条件の場合であった。腐食グレードが高い鉄筋が占める割合が多いが、一方で軽微なものもあった。屋外側で雨がかり有りの部位におけるコンクリートの質量含水率は、降雨がない日が続いた条件下における測定値から判断すると、降雨時では、5%以上になることが想定される。
- (2) 屋外側もしくは屋内側の中性化領域に鉄筋があっても、雨(水)がかり無しの環境条件では、中性化深さの大小に関わらず腐食は軽微で進行していなかった。雨(水)がかり無しの部位におけるコンクリートの質量含水率は3%以下であった。
- (3) 屋外側にあるバルコニーや階段室のスラブ下端側の鉄筋は、施工でかぶり厚さが確保されにくく、かつ雨がかり有りの部位であることから、全体的に腐食グレードが高く、最も進行していた。その傾向は軒先に近い位置ほど顕著である。
- (4) 未中性化領域にある鉄筋は、屋外・屋内および雨(水)がかりの有無の環境条件に関わらず、腐食は軽微で進行していなかった。
- (5) 軽微な鉄筋腐食が多い部材・環境条件であっても、窓や換気口などの屋外に接する開口部周辺の一部では、局所的に鉄筋の腐食が進行していた場合があった。当該部分は、コンクリートにひび割れが生じやすい部分であり、そこからの雨水浸透などが原因と考えられる。
- (6) 今回調査した建築物の外壁に施されていたモルタル仕上げには、中性化領域にある鉄筋の腐食進行を抑制するような効果はなかったと考えられる。また、モルタル仕上げ表面におけるひび割れ幅の大小と鉄筋の腐食進行状況は明確には関連づけられなかった。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説、p.44、1997
- 2) 岸谷孝一ほか1名：コンクリート中の鉄筋の腐食に関する研究、その1、日本建築学会構造系論文集、第283号、pp.11-16、1979.9
- 3) 山本佳城ほか2名：中性化したコンクリートの含水状態が鉄筋腐食に及ぼす影響、日本建築学会構造系論文集、第576号、pp.15-21、2004.2
- 4) 古賀一八ほか2名：高濃度塩化物イオン含有RC建築物の含水率および鉄筋腐食調査、コンクリート工学年次論文集、vol.30、No.1、pp.783-788、2008
- 5) 白石聖ほか3名：実構造調査に基づく部位別の乾燥条件と中性化の関係、2013年度日本建築学会関東支部研究報告集Ⅰ、pp.105-108、2014.2

[2016年6月1日原稿受理 2016年7月22日採用決定]